

滑降式快速预支撑体系在超深基坑中的应用研究

张伟泉

(上海宏波工程咨询管理有限公司,上海市 201707)

摘要:上海机场联络线4标华泾站基坑为超深基坑,分四个独立的区域进行开挖,其中4区基坑开挖深度达42.898 m。目前,超深基坑施工中最大的施工难点为基坑围护结构的变形控制。随着基坑开挖深度的不断加深,开挖工况也趋于复杂,一旦基坑变形过大,就会导致周边建(构)筑物和地下管线出现沉降、撕裂甚至损毁的情况,给超深基坑开挖施工带来极大的风险。伺服钢支撑具有安装快速、立即发挥支撑作用的优势,能极好地控制围护结构在开挖过程中的变形,因而在超深基坑开挖过程中得到广泛应用。滑升模板是混凝土结构中的一种活动成型胎膜,施工速度快,可极大地提高机械使用效率。基坑开挖施工过程中将二者有机地结合,研究了滑降式快速预支撑体系在超深基坑施工中的应用,介绍该体系的概况及施工工艺,分析其对基坑围护结构变形的控制效果,梳理总结分析其优势与不足。

关键词:预支撑体系;钢框架;深基坑

中图分类号: U121

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)10-0158-04

0 引言

随着我国经济社会的发展,城市日益拥挤,交通系统也面临巨大的压力,构建综合交通体系成为城市发展的重要内容,在城市土地资源有限的条件下,向地下空间的发展力度越来越大。长三角地区、粤港澳大湾区等区域已建成和在建的地下轨道交通工程和超大直径隧道工程的数量与日俱增,新建的项目势必会向更深的方向发展。随着基坑开挖深度不断加深,周边环境日趋繁杂,控制软土地区超深基坑的变形、确保其稳定,避免对周边建(构)筑物和地下管线等设施造成破坏,研究运用合适的工艺,有效控制或减缓施工期间混凝土支撑围护结构变形,对超深基坑施工期环境保护和工程安全具有重大意义^[1-6]。

目前,国内超深基坑工程施工中,普通钢支撑因其轴力小、刚度小、易失稳等缺点使其应用较少,而在工程实践中更多的采用钢筋混凝土支撑,但钢筋混凝土支撑自身施工周期长,无法做到随挖随撑。伺服钢支撑能更好地控制围护结构的变形,可以有效降低超深基坑开挖及围护结构变形对周边环境的影响,可以有效控制超深基坑的变形。滑升模板是混凝土结构中的一种活动成型胎膜,结构简单,施工速度

快,大大提升了机械设备的使用效率。

该工程滑降式快速预支撑体系借鉴并结合上述两种施工工艺,在钢筋混凝土支撑施工前引入预支撑,减小混凝土支撑发挥作用前围护结构的变形,保障施工过程中周边环境的安全和稳定。

1 工程概况

1.1 工程概况

上海轨道交通市域线机场联络线4标华泾站主体结构内净尺寸为562.3 m×34.5 m,基坑围护结构为地下连续墙,基坑总开挖面积约18 000 m²,基坑分为4个独立的区域进行开挖施工,最大开挖深度达44.023 m。

如图1所示,4区基坑为盾构接收井,基坑内部尺寸为27.6 m×25.1 m,最大开挖深度约42.898 m,坑底纵向设置2‰斜坡。基坑围护结构采用1.2 m厚、107.5 m深地下连续墙,接头形式为套铣接头;地下连续墙两侧采用三轴水泥土搅拌桩进行槽壁加固,槽壁加固桩长为25 m、桩径为850 mm、桩心距为600 mm;内支撑均为9道钢筋混凝土支撑,其中第7、8道为留撑。地下连续墙墙缝处采用N-jet工法进行全圆加固设置墙缝止水,桩径为2 200 mm;墙缝止水桩顶标高为-19.300 m,竖向与槽壁加固搭接1 m,桩长至地下连续墙墙底。墙缝止水有效直径与铣接头接缝搭接长度需大于600 mm。基坑内桩基为钻孔灌注桩,坑内设置5根抗拔桩和4根立柱桩。

收稿日期:2022-01-12

作者简介:张伟泉(1978—),男,本科,工程师,从事轨道交通建设管理工作。

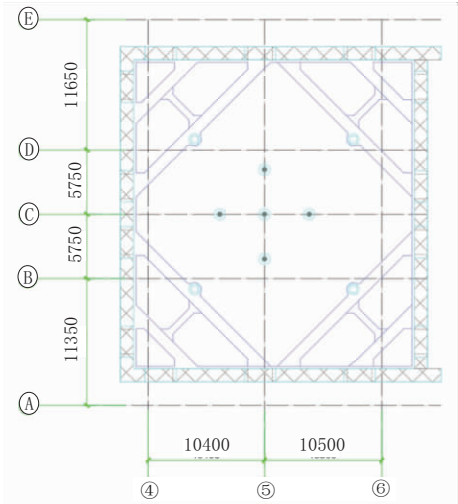


图 1 四区基坑平面图(单位:mm)

1.2 地质条件

该工程建设场地为正常沉积区,在勘探深度范围内地层可划分为 10 个大层,地质关系剖面示意图如图 2 所示。



图 2 地质关系剖面示意图

上海地区浅部土层中的潜水位埋深一般为地表下 0.3~1.5 m,年平均水位埋深为 0.5~0.7 m。分区 4 在基坑影响范围内的承压含水层主要有④₂、⑤₁₋₁层微承压水含水层及⑦₁、⑦₂、⑧₂、⑨₁层承压水含水层。接收井坑底位于⑦₂层粉砂层中,围护墙底位于⑩层兰灰~褐灰色黏土层中。

2 滑降式快速预支撑体系简介

滑降式快速预支撑体系是针对超深基坑钢筋混凝土支撑施工期间为有效控制超深基坑围护结构变形而提前安装的临时性型钢框架支撑。滑降式快速

预支撑体系主要由卷扬机固定架、卷扬机、钢围檩、斜撑、液压油缸、液压泵站等部件组成,卷扬机固定架已于前期预埋在结构内部,下部支撑平台总重量约 200 t(含配件),外包尺寸为 23 600 mm×26 100 mm,四周钢围檩分为 8 个构件,8 根斜撑为独立构件,构件间采用焊接连接,液压泵站固定于东侧钢围檩上,随支撑平台升降。滑降式快速预支撑体系平面图详如图 3 所示。

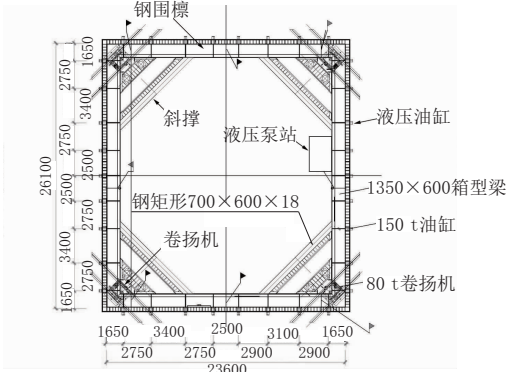


图 3 滑降式快速预支撑体系平面图(单位:mm)

滑降式快速预支撑体系充当底模剖面图如图 4 所示。

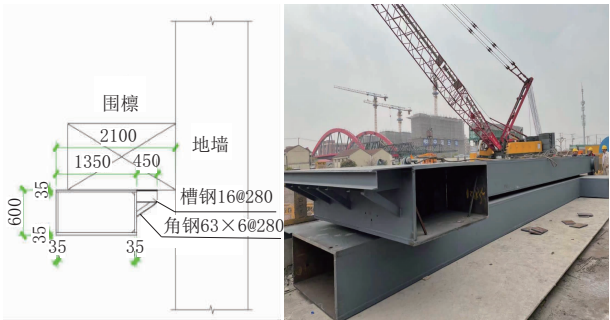


图 4 滑降式快速预支撑体系充当底模剖面图(单位:mm)

3 滑降式快速预支撑体系施工工艺

3.1 构件制作

该工程钢构件均在钢结构加工厂内进行生产加工制作,加工制作过程中,应严格控制钢构件的切割下料、装配、焊接、校正等工序质量,确保钢构件每道工序的质量符合设计要求和规范规定,并经检测合格后运至现场进行拼装。

3.2 总体安装

在基坑内的相应位置将支撑平台边线测放在已浇筑的混凝土垫层上,并铺设钢板作为拼装场地。先将钢围檩构件吊入,并在基坑内按照先围檩后斜撑的顺序组装型钢框架支撑模块;首先,进行型钢框架支撑模块的顶面及侧面焊缝焊接,其次,将型钢框架支撑模块抬高后进行底面焊缝焊接,第三,采用沙箱

临时支撑固定。待型钢框架支撑模块连接成整体后使用卷扬机整体提升拆除型钢框架支撑,同时安装人员进行液压油缸、油管、液压泵站等安装,液压油缸与钢围檩采用高强螺栓连接。

选用150 t履带吊(45 m主臂)和50 t汽车吊完成本次安装任务,其中,选用15 t卸扣和直径26 mm的钢丝绳。由150 t履带吊进行钢围檩的吊装,50 t汽车吊进行斜撑、卷扬机、液压油缸、液压泵站等较轻零部件吊装。吊装前,施工现场应划分吊装施工区域并悬挂施工标识;吊装施工期间,禁止无关人员及车辆进入吊装施工区域内,确保吊装作业安全顺利完成。

3.3 使用流程

滑降式快速预支撑体系安装完成后进行型钢框架支撑体系的试运转,确定卷扬机、液压泵站、液压油缸运行情况良好。

使用流程如下:开挖至设计标高、基面整平压实→下放快速预支撑体系→施加液压油缸顶力→绑扎围檩支撑钢筋、模板安装→卸载液压油缸顶力、快速预支撑体系与围护结构间缝隙回填黄沙→浇筑围檩支撑混凝土→养护至围檩支撑可以承担自重→开挖预支撑体系下部土方使其与围檩支撑脱离→施加液压油缸顶力至下一层土方开挖至设计标高→卸载预应力下放快速预支撑体系,开始下一循环。

开挖至设计标高后,应及时对地下连续墙进行凿毛,避免影响快速预支撑体系的下放;应将基面整平压实,清空基坑内作业人员,并对各设备进行详细检查后开始下放快速预支撑体系。型钢框架支撑正式下放前,将背侧垫块清理出钢框范围;下放过程中,应确保卷扬机钢丝绳收紧、受力并轮流调试四台卷扬机,割除加固吊筋,收回两侧的千斤顶,在收回过程中,应注意卷扬机读数的变化;型钢框架支撑下放时,由操作人员控制下放速度及高度,当下降至距离设计标高1.5 m左右,检查液压油缸系统的完好,确保其满足工况要求,下放至设计标高后,按设计值施加顶力。

在型钢框架支撑模块与围护结构间隙回填沙袋及黄沙至钢筋混凝土支撑底面,使用水泥砂浆抹面,液压千斤顶除顶出面外,如图5所示,四周设置保护,钢框架支撑模块与混凝土支撑接触面涂刷脱模剂方便脱模,然后进行后续混凝土支撑的施工。混凝土浇筑前,卸载千斤顶压力,待混凝土支撑强度可以承受自身重力,恢复滑降系统与钢框架支撑

模块连接,开挖下一层土方至设计深度;将型钢框架支撑模块滑降至开挖面,按设计值施加顶力,开始下一循环。

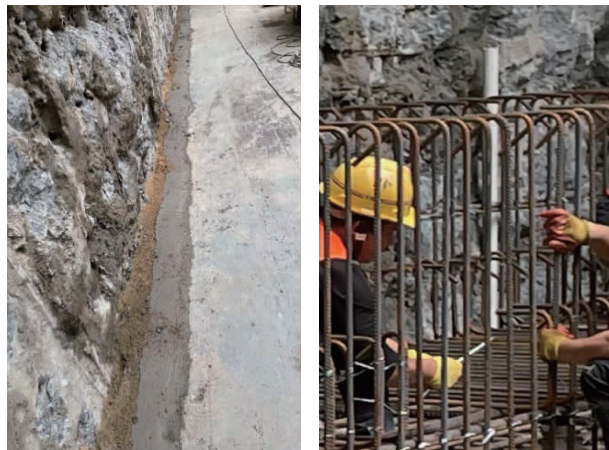


图5 体系充当底模、间隙用砂袋填实

4 围护结构变形控制效果分析

预支撑体系将临时型钢框架支撑与千斤顶相结合,可以对地下连续墙快速施加预应力,减少混凝土支撑及围檩施工期间围护结构地变形。

该工程分区4基坑围护结构深层水平位移监测点共有9个。其中CX1~CX7、CX9测斜点数据为人工采集,CX8测斜点数据为自动化采集。

基坑开挖期间,围护结构水平位移最大值为76.79 mm,最大变形率为1.79‰,相较传统的混凝土支撑基坑而言,该体系有效地控制了围护结构变形。较使用钢支撑基坑而言,可以增大支撑的竖向间距,减少支撑道数。

以第三道钢筋混凝土支撑施工为例进行分析,基坑最大变形为5.23 mm,其主要发生在土方开挖期间,各监测点开挖面累计变形数据如图6、图7、所示,各阶段各测点日均变形比较如图8所示。

根据图6至图8数据显示,千斤顶施加顶力后,开挖面变形减缓,累计变形值趋于平稳,混凝土支撑施工期间日均变形量均小于该层土方开挖阶段的日均变形量(见表1),降低了45.35%。预支撑体系的使用有效地控制了围护结构暴露阶段的基坑变形,基坑安全得到了保障。

5 优势与改进分析

该体系的应用极大地缩短了施工工期,根据数据统计分析,每层混凝土支撑施工平均用时不到9 d。整个预支撑体系从当前层下降至下一层开挖面并形成支撑效应仅需4 h左右,极大地减少了无支撑

表 1 当开挖深度为 13.3 m 时第三道支撑开挖面累计变形(13 m 处数据) 单位:mm

监测点	日期																				
	4月30日	5月1日	5月2日	5月3日	5月4日	5月5日	5月6日	5月7日	5月8日	5月9日	5月10日	5月11日上午	5月11日下午	5月12日上午	5月12日下午	5月13日上午	5月13日下午	5月14日上午	5月14日下午	5月15日上午	5月15日下午
CX1	10.31	10.48	10.73	12.11	13.15	13.48	14.99	15.43	15.76	15.94	15.81	15.66	15.48	16.08	16.60	17.20	17.54	18.65	19.16	19.88	19.69
CX2	6.51	6.91	7.38	8.16	8.64	8.76	9.36	9.30	9.10	8.71	8.31	8.09	8.10	8.79	9.19	9.66	9.88	10.52	10.87	11.62	12.49
CX3	9.71	9.62	9.74	11.09	12.33	12.43	12.51	12.8	13.12	12.93	13.05	12.84	12.92	2.57	12.19	12.48	12.78	13.00	13.31	13.05	12.60
CX4	7.60	7.90	8.22	9.01	9.43	9.28	9.90	9.60	9.45	9.50	9.31	8.85	8.94	9.09	9.21	9.71	9.88	9.90	10.16	10.43	10.96
CX5	8.90	9.10	9.36	10.20	11.01	11.01	11.43	11.41	11.70	12.04	11.86	11.49	11.42	11.15	11.17	11.15	11.21	11.21	11.68	11.88	11.80
CX6	9.11	9.29	9.39	10.33	10.83	11.29	11.83	12.23	12.41	12.85	12.59	12.13	12.11	11.90	11.69	12.02	12.1	12.52	12.84	13.31	13.30
CX7	9.21	9.40	9.34	10.32	11.29	11.83	12.43	12.79	13.24	13.19	12.77	12.30	12.14	11.62	11.41	11.83	12.2	12.53	12.75	13.58	13.57
CX8	10.11	10.31	10.22	11.19	11.98	12.95	13.85	14.39	14.66	14.44	14.20	14.01	13.97	14.27	14.06	13.89	13.99	13.68	13.45	13.35	13.03
CX9	9.31	9.52	9.60	10.70	11.62	12.18	12.83	13.27	13.55	13.87	13.51	13.19	13.10	13.00	13.25	13.8	14.01	14.24	15.00	15.60	15.36

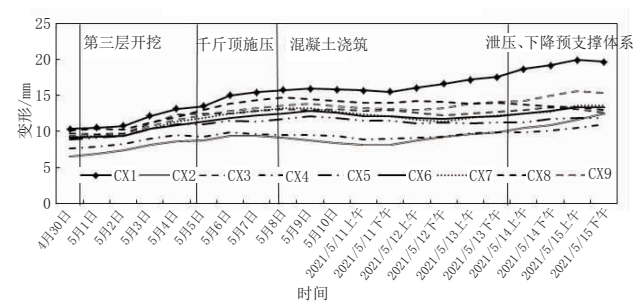


图 6 第三道支撑开挖面累计变形图

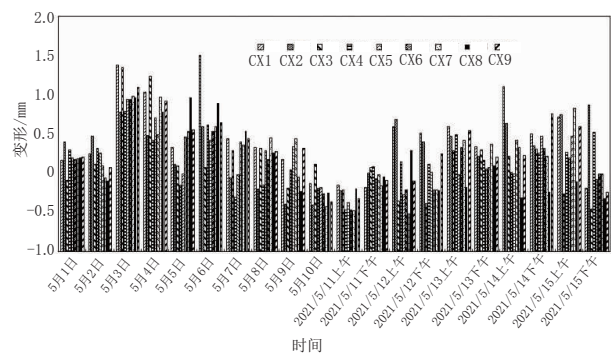


图 7 第三道支撑开挖面日增变形量图

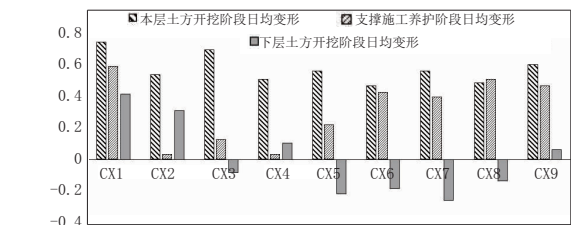


图 8 各阶段日均变形比较图

暴露时间。较传统的钢支撑更快,并能够及时对围护结构形成支护,缩短混凝土支撑的养护时间,缩短了开挖下一层土方的施工时间,节省工期。

由于混凝土支撑施工前预支撑已经及时形成,常规的混凝土支撑下方土体加固可以取消,型钢框架圈梁可兼做混凝土支撑底模,省去了混凝土垫层,

节约了成本,简化了工序并提高了施工功效。
预支撑体系的应用有效控制了混凝土支撑施工期间基坑围护结构的变形,减小了对周边环境的影响,保障了超深基坑施工安全。

该体系在安装及使用过程中还可改进,在第二层土方开挖完成后进行基坑内钢框架安装,人工焊接,操作空间小,焊接效率低,配套的油缸管路及液压系统为后置安装,若改进为安装好的成品钢框架整体下放可极大地节省安装时间。

预支撑系统在使用过程中,作业人员对卷扬机和液压系统分别进行遥控指挥,两套体系的读数显示如同步至同一终端,则可提高操作的安全性,节省观察人员,提升施工过程中的安全性。

6 结语及展望

超深基坑开挖施工风险高、难度大、周期长。该工程结合钢支撑伺服体系和滑模体系,采用滑降式快速预支撑体系,有效地减小了围护结构变形。通过在开挖面及时对千斤顶施加顶力,减小了暴露期,节约施工成本,提高施工工效,保障了基坑施工安全。

上海轨道交通市域线机场联络线 4 标分区 4 基坑开挖已经结束,该项目应用预支撑体系,下放速度快,整体性好;施工流畅,极大降低工程风险;节省人工,提高整体的施工工效。但实际施工过程中尚存在以下亟待解决的问题。

该方法虽有效减小了围护结构变形,但是整个体系安装时间仍然较长,钢框架的结构及连接方式还可进一步优化。钢框架与地下连续墙之间的空隙填充方式、液压千斤顶的防裹混凝土保护、施工中卷扬机系统及液压油缸系统的协同配合等问题还可进一步提升。

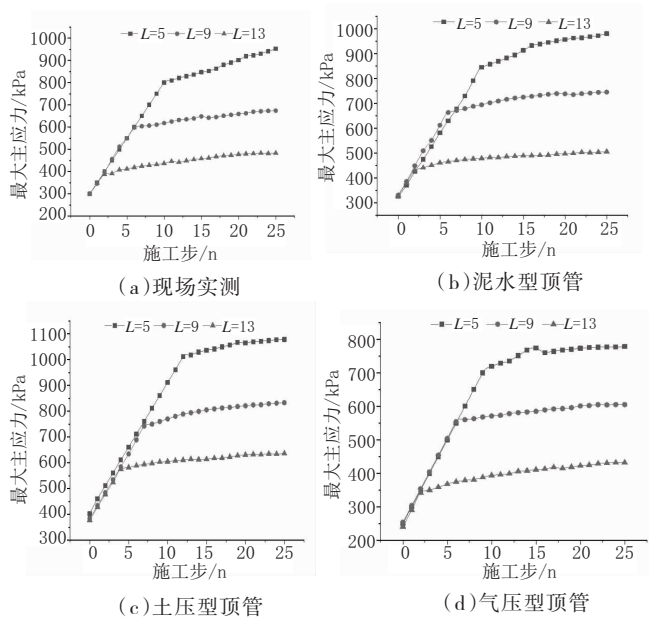


图 6 不同顶管施工最大主应力值曲线图

此类地区开展排水管道施工时使用泥水型顶管。

4 结 语

为了更好地指导今后在类似地层中进行顶管施工,本文采用三维数值模拟方法进行了数值模拟,通过对现场测量数据的比较验证了模型的有效性,并对比分析了不同施工技术在此类地层运用的合理

性,得出如下结论:

(1)通过对比现场实测及三种不同型号顶管施工模拟的地表沉降数据发现,相比于其他两种类型顶管,泥水型平衡顶管对土层的扰动最小,且最接近现场实测真实数据,仅相差 0.24 mm,在地层沉降控制严格地段,建议选取泥水型平衡顶管施工。

(2)结合现场实测及不同顶管施工数值模拟数据得出:气压型平衡顶管施工时最大主应力值最小,泥水型次之,土压型最大,综合上述可知,采用顶管技术在此类地层进行排水管道施工时,宜优先考虑泥水型平衡顶管技术。

参考文献:

[1] 沈路燕.顶管施工技术在雨污水管道建设中的应用研究[J].城市道桥与防洪,2018,231(7):236-238,23.
[2] 苏树铮.给水排水管道设计和施工的几个问题[J].电力建设,2003(2):14-16.
[3] 李敏.顶管技术在排水管道施工中的应用[J].科技资讯,2010(19):130.
[4] 孟丽娜.排水管道顶管施工技术探析[J].科技创新与应用,2016(35):171.
[5] 唐超.微型顶管在排水管道建设中的应用[J].工程技术研究,2020,5(20):135-136.

(上接第 161 页)

参考文献:

[1] 罗庚,刘建伟,刘刚,等.地铁车站钢-混凝土联合内支撑体系变形分析[J].河南城建学院学报,2020,29(6):43-47,86.
[2] 刘树亚,潘晓明,欧阳蓉,等.用钢筋混凝土支撑代替钢支撑的深基坑支护特性研究[J].岩土工程学报,2012,34(S1):309-314.
[3] 黄雅琪.某地下连续墙深基坑支护结构中钢筋混凝土支撑性能研

究[D].南宁:广西大学,2014.
[4] 赵国强.深基坑施工全过程中典型工序引起的变形研究[J].上海建设科技,2021(2):27-30.
[5] 秦文献.地铁车站工程深基坑开挖施工技术[J].城市住宅,2021,28(3):237-238.
[6] 刘文胜,梁文新,黄华祥.复杂环境下车站深基坑工程支护及开挖施工技术[J].绿色环保建材,2020(11):120-122.